



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

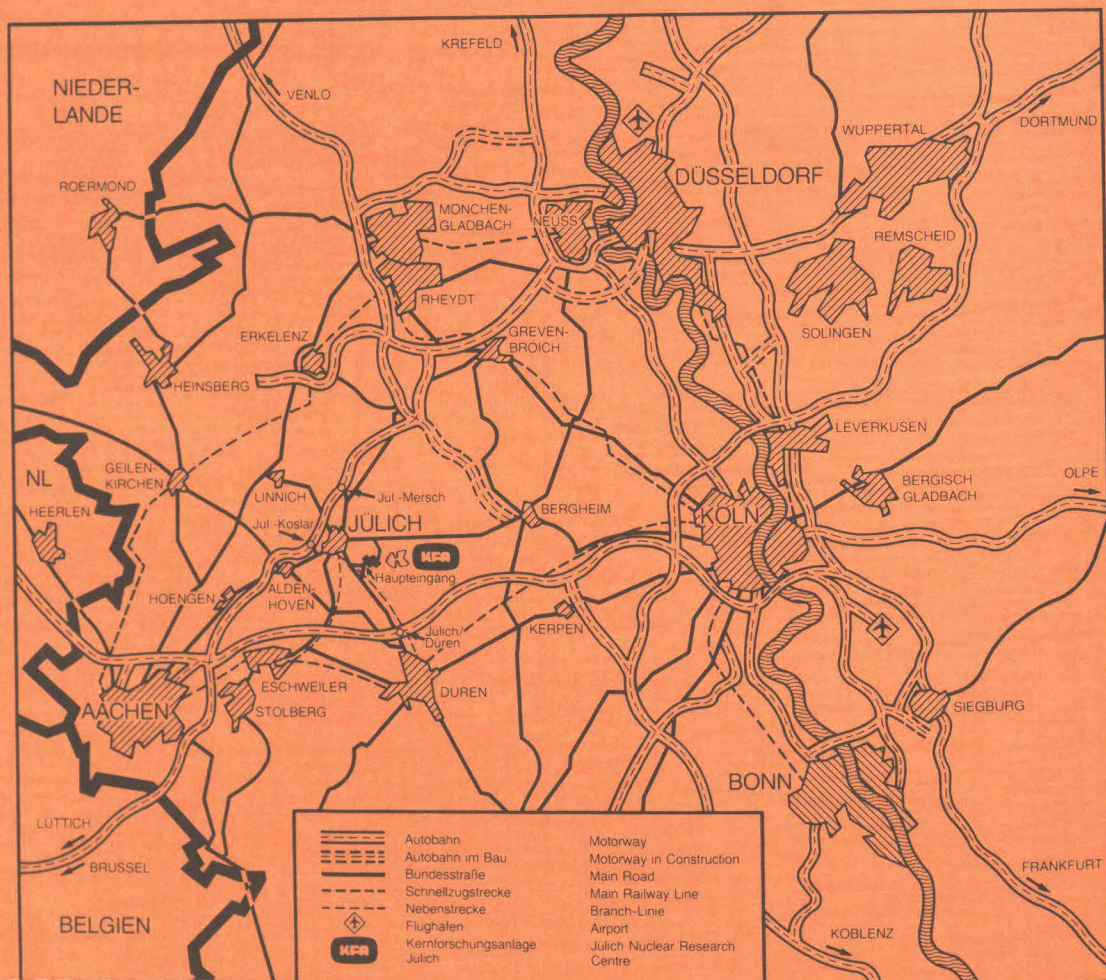
Institut für Kernphysik

**Vorschlag zur Ionenoptik und zur
kinematischen Anpassung an dem
Magnetspektrographen BIG KARL**

von

F. Hinterberger

Jül – Spez – 343
Januar 1986
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 343

Institut für Kernphysik Jül – Spez – 343

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 024 61/610 · Telex: 833 556-0 kf d

**Vorschlag zur Ionenoptik und zur
kinematischen Anpassung an dem
Magnetspektrographen BIG KARL**

von

F. Hinterberger

Zusammenfassung

Für den Magnetspektrographen BIG KARL wird der Einbau einer zusätzlichen Quadrupollinse vorgeschlagen. Damit ergibt sich die Möglichkeit einer teleskopischen Ionenoptik. Für zukünftige Experimente wird eine Standardeinstellung mit einer Ortsdispersion von 6.6 m und verschwindender Winkeldispersion vorgeschlagen. Das D/M Verhältnis (Dispersion/Magnification) beträgt 14.0 m, der maximale Raumwinkel liegt bei 3 msr. Der Energiebereich beträgt bei einer Fokalebene­länge von 0.66 m 20%. Zur kinematischen Anpassung des Spektrographen wird die Fokalebene verschoben. Diese Verschiebung kann einfach und schnell für unterschiedliche K-Werte mit Hilfe einer Software-Korrektur realisiert werden, wenn routinemäßig zwei Ortsspektren in der Fokalebene aufgenommen werden. Damit kann zusätzlich für jedes Ereignis der aktuelle Streuwinkel mit relativ guter Auflösung bestimmt werden. Die Dispersionsanpassung ist von der kinematischen Anpassung des Magnetspektrographen vollständig entkoppelt.

1. Problemstellung

Es ist allgemein bekannt, daß bei einer Kernreaktion der Art $A_1 (a_1, a_2) A_2$ die Impulsunschärfe der Ejektile von der Impulsunschärfe der Projektile und der Unschärfe bezüglich des Reaktionswinkels abhängt (siehe z.B. RE 75, MA 83, HI 85).

Damit ist die Energieauflösung, mit der benachbarte Restkernzustände aufgelöst werden können, prinzipiell durch die Strahlqualität und den Öffnungswinkel des Detektors begrenzt. Für einen Strahl wie dem des Jülicher Zyklotrons bedeutet dies bestenfalls eine Energieauflösung von 500, d.h. $\Delta E/E \sim 2 \cdot 10^{-3}$, wenn man eine akzeptable Transmission durch das Doppelmonochromatorsystem fordert.

Bei Verwendung eines Spektrographen besteht jedoch die Möglichkeit, den Q-Wert der Reaktion mit einer wesentlich höheren Energieauflösung zu messen, d.h., daß die Q-Wertauflösung liegt deutlich über der Energieauflösung des Ejektilstrahls. Diese Möglichkeit ergibt sich durch eine gezielte Anpassung der Strahlpräparation und des Spektrographen.

Ich beziehe mich im folgenden auf die Nomenklatur in (HI 85) und übernehme einen Teil von Abschnitt 5.1 (Gleichungen (1) bis (8)) für die folgenden Berechnungen. Die Strahlentwicklung vom Eingangsschlitz des Monochromatorsystems bis zur Fokalebene wird in 3 Sektionen aufgeteilt:

$$\vec{x}_1 = B \vec{x}_0 \quad (1) \quad (B: \text{Beam Preparation})$$

$$\vec{x}_2 = T \vec{x}_1 \quad (2) \quad (T: \text{Targettransformation incl. Definition neuer Winkelvariabler } \theta_2 \text{ und } \varphi_2)$$

$$\vec{x}_f = S \vec{x}_2 \quad (3) \quad (S: \text{Spektrometertransformation})$$

Der Vektor \vec{x} steht jeweils für die 6 Phasenraumkoordinaten:

$$\vec{x} = \begin{array}{|l|l} x & \text{radiale Ortsabweichung} \\ \theta & \text{radiale Winkelabweichung} \\ y & \text{axiale Ortsabweichung} \\ \varphi & \text{axiale Winkelabweichung} \\ z & \text{longitudinale Ortsabweichung} \\ \delta & \text{longitudinale Winkelabweichung } (= \Delta p_z / p_0) \end{array} \quad (4)$$

Bei einer HHH Konfiguration (horizontale Dispersion am Target, horizontale Streuebene, horizontale Spektrometerebene) ergibt sich in linearer Näherung für die radiale Ortsabweichung x_f in der Fokalebene die folgende Gleichung:

$$\begin{aligned} x_f = & x_0 (S_{11} B_{11} T_{11} - K S_{16} B_{21}) \\ & + \theta_0 (S_{11} B_{12} T_{11} - K S_{16} B_{22}) \\ & + \delta_0 (S_{11} B_{16} T_{11} - K S_{16} B_{26} + S_{16} C) \\ & + \theta_2 (S_{12} + K S_{16}) \end{aligned} \quad (5)$$

Hierbei sind die Größen B_{ik} und S_{ik} die R-Matrixelemente der Strahlpräparation bzw. des Spektrometers. Für den Koeffizienten der Targettransformation T_{11} gilt:

$$T_{11} = \cos (\alpha_0 - \varepsilon) / \cos \varepsilon$$

α_0 ist der mittlere Streuwinkel und ε der Winkel zwischen Targetnormalen und Strahlachse. Die Größen C und K erfassen die kinematischen Effekte bei einer 2-Teilchenreaktion $A_1(a_1, a_2)A_2$

$$C = \frac{\partial p_2}{\partial p_1} \frac{p_1}{p_2} \quad (= \frac{\text{relative Impulsänderung der Ejektile}}{\text{relative Impulsänderung der Projektile}}) \quad (6)$$

$$K = \frac{1}{p_2} \frac{\partial p_2}{\partial \alpha} \quad (= \frac{\text{relative Impulsänderung der Ejektile}}{\text{Änderung des Streuwinkels}}) \quad (7)$$

Die Startkoordinaten $(x_2, \theta_2, \delta_2)$ eines Teilchens, das vom Target in das Spektrometer fliegt, sind bis auf die Winkelvariable θ_2 durch die Reaktion im Target festgelegt.

$$\begin{aligned} x_2 &= T_{11} x_1 \\ \delta_2 &= K (\theta_2 - \theta_1) + C \delta_0 \end{aligned}$$

Die Größe θ_2 ist eine zusätzliche Variable, die zu den Variablen x_0 , θ_0 und δ_0 hinzukommt. Der Variationsbereich von θ_2 ist durch die radiale Winkelakzeptanz des Spektrographen festgelegt.

Der zu erwartende Variationsbereich für die kinematischen Größen C und K ist durch die in Zukunft möglichen Experimente bestimmt. Eine grobe Abschätzung ergibt $0.5 \lesssim C \lesssim 2$ und $0 \lesssim |K| \lesssim 0.8$.

Wie im folgenden noch gezeigt wird, ist es auch sinnvoll, die radiale Winkelabweichung θ_f in der Fokalebene zu betrachten. Aus den Gleichungen (1) - (3) folgt für die Größe θ_f eine Gleichung mit einer ähnlichen formalen Struktur wie Gleichung (5):

$$\begin{aligned} \theta_f &= x_0 (S_{21} B_{11} T_{11} - K S_{26} B_{21}) \\ &+ \theta_0 (S_{21} B_{12} T_{11} - K S_{26} B_{22}) \\ &+ \delta_0 (S_{21} B_{16} T_{11} - K S_{26} B_{26} + S_{26} C) \\ &+ \theta_2 (S_{22} + K S_{26}) \end{aligned} \quad (8)$$

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei eine kurze Bemerkung zur Vorzeichenwahl angefügt. Das Koordinatensystem (x y z) in Gleichung (4) ist rechtshändig, d.h., wenn die z-Achse in Strahlrichtung zeigt, zeigt die x-Achse in der horizontalen Ebene nach links (in Strahlrichtung gesehen). Der nominale Streuwinkel α_0 ist entweder positiv oder negativ, je nachdem, ob der Spektrograph in Strahlrichtung gesehen links oder rechts steht. Für den aktuellen Streuwinkel gilt $\alpha = \alpha_0 + (\theta_2 - \theta_1)$. Der Wert der Größe K ist definitionsgemäß bei Streuung nach links negativ und bei Streuung nach rechts positiv. Wenn z.B. bei Messungen am BIG KARL eine Reaktion unter 20° nach rechts beobachtet wird, ist $\alpha_0 = -20^\circ$ und der K-Wert positiv (z.B. $K = +0.12$). Eine positive Winkelabweichung $(\theta_2 - \theta_1) = +1.5^\circ$ ergibt einen aktuellen Streuwinkel $\alpha = -20^\circ + 1.5^\circ = -18.5^\circ$.

Die Problemstellung besteht darin, einen optimalen Weg zur Anpassung des Spektrographen und der Strahlpräparation an die unterschiedlichen kinematischen Situationen zu finden. Dispersionsanpassung bedeutet, daß in Gleichung (5) der Klammerausdruck bei δ_0 verschwindet. Dadurch wird der Bildfleck in der Fokalebene unabhängig von der Impulsunschärfe des Primärstrahls. Kinematische Anpassung bedeutet, daß die Klammerausdrücke bei θ_0 und θ_2 verschwinden. Dadurch wird der Bildfleck in der Fokalebene unabhängig von der Unschärfe bezüglich des Reaktionswinkels.

2. Vorschlag zur Modifikation der Ionenoptik des Magnetspektrographen BIG KARL

Zur Optimierung der kinematischen Anpassung des Magnetspektrographen BIG KARL schlage ich vor, die Ionenoptik so zu modifizieren, daß die Matrixelemente S_{21} und S_{26} verschwinden. Dies bedeutet für die horizontale Strahltransformation eine teleskopische Optik mit verschwindender Winkeldispersion. Wie im 3. Abschnitt gezeigt wird, kann eine solche Optik durch den Einbau eines zusätzlichen Quadrupols Q hinter den bereits vorhandenen Quadrupollinsen Q_1 und Q_2 realisiert werden. Die horizontale Transformationsmatrix S für $K = 0$ lautet dementsprechend:

$$S = \begin{vmatrix} S_{11} & 0 & S_{16} \\ 0 & 1/S_{11} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (9)$$

Der Vorschlag besteht weiterhin darin, daß für alle Routine-messungen mit einer festen Einstellung der Optik des Magnetspektrographen gemessen wird. Die kinematische Anpassung des Spektrographen sollte durch eine entsprechende Software-Korrektur ersetzt werden. Dazu ist es notwendig, den Ort x_f und den Winkel θ_f in der Fokalebene mit zwei ortsauflösenden Detektoren zu messen (siehe auch Abschnitt 4). Die Software-Korrektur

ermöglicht es, die Lage der effektiven Fokalebene entsprechend dem K-Wert der Reaktion zu variieren.

In Formeln ausgedrückt bedeutet die Software-Korrektur eine Verschiebung der Fokalebene um die Driftstrecke L:

$$\begin{vmatrix} 1 & L & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} S_{11} & 0 & S_{16} \\ 0 & 1/S_{11} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_{11} & L/S_{11} & S_{16} \\ 0 & 1/S_{11} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

Die Bedingung der kinematischen Anpassung des Spektrographen lautet (siehe Klammerausdruck bei Θ_2 in Gleichung (5)):

$$L/S_{11} + K S_{16} = 0 \quad (11)$$

$$L = -K S_{11} S_{16} \quad (12)$$

$$\text{z.B. } K = 0.1, S_{11} = 0.47, S_{16} = -6.6 \text{ m} \quad L = +0.31 \text{ m.}$$

An der Gleichung (10) erkennt man unmittelbar den großen Vorteil einer teleskopischen Optik mit verschwindender Winkeldispersion. Bei einer kinematischen Anpassung durch Verschieben der Fokalebene ändert sich weder die Vergrößerung S_{11} noch die Ortsdispersion S_{16} . Damit ergibt sich vor allem die Möglichkeit, die Dispersionsanpassung unabhängig von der kinematischen An-

passung durchführen zu können. Man kann nämlich in Gleichung (5) den Klammerausdruck bei δ_0 durch folgende Bedingungen zum Verschwinden bringen:

$$B_{16} = - \frac{S_{16}}{S_{11}} \frac{C}{T_{11}} \quad (13)$$

$$B_{26} = 0 \quad (14)$$

Diese Gleichungen zur Dispersionsanpassung sind unter den oben angegebenen Voraussetzungen unabhängig von der Größe K, d.h. sie gelten auch, wenn der Streuwinkel variiert wird oder mehrere Reaktionen mit unterschiedlichem K-Wert gleichzeitig in der Fokalebene gemessen werden sollen.

Ein weiterer großer Vorteil der Bedingungen $S_{21} = 0$ und $S_{26} = 0$ ist anhand von Gleichung (8) zu erkennen. Die radiale Winkelabweichung in der Fokalebene θ_f hängt danach nur noch vom Winkel θ_2 ab, aber nicht mehr von der Orts-, Winkel- und Impulsunschärfe des Primärstrahls. Der Winkel θ_f ist weiterhin unabhängig vom C-Wert und K-Wert der Reaktion. Es gilt mit den Gleichungen (8) - (10)

$$\theta_f = S_{22} \theta_2 = \theta_2 / S_{11} \quad (15)$$

$$\theta_2 = S_{11} \theta_f \quad (16)$$

Bei hinreichend kleiner Primärstrahldivergenz (Θ_0 hinreichend klein) kann damit der aktuelle Streuwinkel α bestimmt werden:

$$\alpha = \alpha_0 + \Theta_2 \quad (17)$$

3. Praktische Realisierung

Wie bereits erwähnt, genügt der Einbau eines zusätzlichen Quadrupols Q vor den großen Dipolmagneten D_1 , D_2 von BIG KARL, um die in Abschnitt 2 skizzierte Ionenoptik zu realisieren. Die Anordnung ist in Abb.1 schematisch dargestellt.

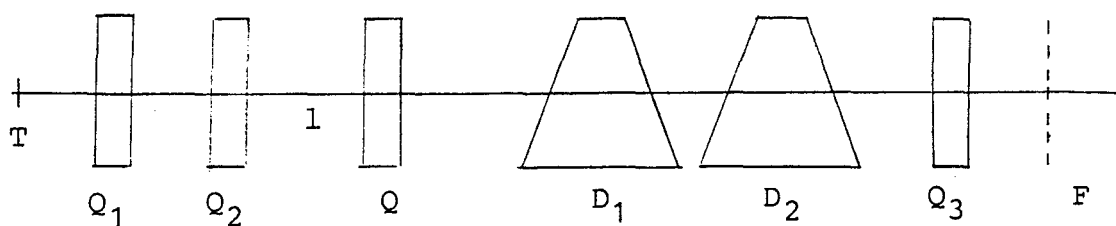


Abb.1: Schematische Anordnung der Quadrupole Q_1 , Q_2 , Q , Q_3 und Dipole D_1 , D_2 . T: Target, F: Fokalebene, 1: Driftstrecke zwischen Q_2 und Q .

Als zusätzlicher freier Parameter steht die Länge l der Driftstrecke zwischen Q_2 und Q zur Verfügung.

Um die Winkeldispersion $S_{26} = 0$ zu erreichen, muß man Q_3 fast gleich null setzen. Wahrscheinlich kann man in der Praxis auf eine Erregung von Q_3 verzichten. Damit ist auch die Ortsdispersion festgelegt: $S_{16} = -6.56$ m (siehe Transportrechnung im Anhang). Ein großer Vorteil dieser relativ kleinen Ortsdispersion ist der relativ große Energiebereich in der Fokalebene. Für eine Fokalebene­länge 0.66 m ergibt sich ein nutzbarer Energie -

bereich von 20%, d.h. man kann mit einer Aufnahme einen großen Anregungsenergiebereich abdecken.

Die horizontale Vergrößerung S_{11} kann durch die Wahl von C variiert werden, ohne daß sich die vertikalen Abbildungseigenschaften wesentlich ändern. Für $l = 0.43$ m ergibt sich $S_{11} = +0.69$, für $l = 0.83$ m ergibt sich $S_{11} = + 0.41$. Die vertikale Vergrößerung S_{33} variiert zwischen 5 und 5.5. Als sinnvolle Wahl für l schlage ich $l = 0.73$ m vor. Der zusätzliche Quadrupol könnte damit außerhalb der Iglu-Betonabschirmung stehen. Die resultierende Auflösungsstärke, d.h. das D/M Verhältnis (Dispersion/Magnification) beträgt für $l = 0.73$ m :

$$D/M = S_{16}/S_{11} = 14.0 \text{ m}$$

Dieser Wert entspricht der geplanten Standardeinstellung für das modifizierte Doppelmonochromatorsystem.

Die ionenoptischen Details können der Transportrechnung im Anhang entnommen werden. Die Anforderung an die Fokussierungsstärke der Quadrupole ist moderat im Vergleich zu dem konventionellen Betrieb. Der zusätzliche Quadrupol Q sollte einen Aperturradius von 10 cm aufweisen und einen maximalen Gradienten von 0.51 kG/cm ermöglichen. Die maximale Winkelakzeptanz liegt horizontal bei 60 mrad und vertikal bei 50 mrad. Damit ergibt sich ein maximaler Raumwinkel von 3 msr .

4. Kinematische Anpassung durch Software-Korrektur

In der Fokalebene seien zwei horizontal ortsauflösende Detektoren im Abstand L_0 eingebaut (siehe Abb.2). Aus den Ortssignalen x_1

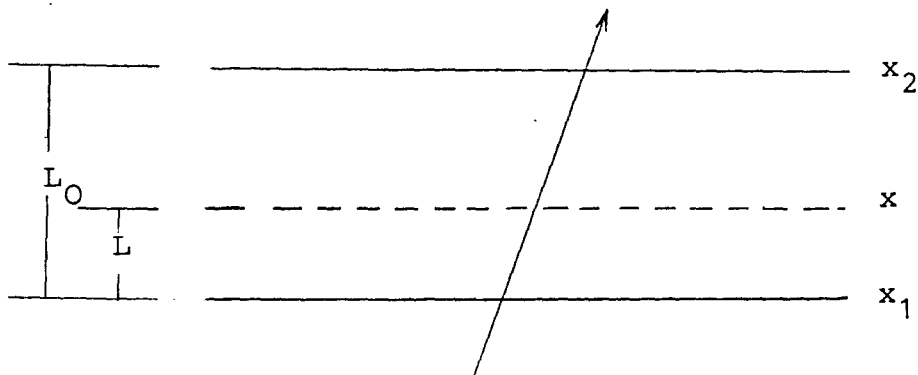


Abb.2: Schema zur Fokalebenevariation via Software-Korrektur

und x_2 kann man leicht auf eine beliebige im Abstand L sich befindende Fokalebene umrechnen. Die entsprechende Ortsposition x ergibt sich zu:

$$x = x_1 + (x_2 - x_1) L/L_0 \quad (18)$$

Wenn man für L den Ausdruck in Gleichung (12) einsetzt, ergibt sich:

$$x = x_1 - (x_2 - x_1) K S_{11} S_{16} / L_0 \quad (19)$$

In der Praxis kann man die gemessenen Spektren auf mehrere Fokalebenen umrechnen, je nachdem wieviele K-Werte in den Spektren vorhanden sind. Dadurch ist es möglich, alle im Spektrum enthaltenen Reaktionen *à posteriori* durch Software-Korrektur als scharfe Linien darzustellen. Diese Möglichkeit ist vor allem auch im Hinblick auf zukünftige Reaktionen mit schweren Ionen sehr attraktiv.

Literaturverzeichnis

- (BR 80) K.L. Brown, D.C. Carey, Chr. Iselin und F. Rothacker,
CERN Report 80-04 (Genf 1980)
- (HI 85) F. Hinterberger, Jül-Spez-300 (1985)
- (MA 83) S.A. Martin, A. Hardt, J. Meissburger, G.P.A. Berg,
U. Hacker, W. Hürlimann, J.G.M. Römer, T. Sagefka,
A. Retz, O.W.B. Schult, K.L. Brown und K. Halbach,
Nucl. Instr. and Meth. 214 (1983) 281
- (RE 75) J. Reich, S. Martin, D. Protić and G. Riepe,
Proc. 7th Int. Conf. on Cyclotrons and their
Applications, Zürich 1975 (Birkhäuser Verlag,
Basel und Stuttgart 1976) p. 235

Anhang

Rechnung mit dem Programm Transport (BR 80) zur vorgeschlagenen
Ionenoptik.

BIG KARL

BFAM 1. 0.59959 GEV
0.000 M

0.000 0.050 CM
0.000 30.000 MR
0.000 0.150 CM
0.000 25.000 MR
0.000 0.000 CM
0.000 0.000 PC

Target

0.000
0.000 0.000
0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

DRIFT 3. 0.60000 M
0.600 M

0.000 1.801 CM
0.000 30.000 MR
0.000 1.507 CM
0.000 25.000 MR
0.000 0.000 CM
0.000 0.000 PC

1.000
0.000 0.000
0.000 0.000 0.995
0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

TRANSFORM 1

1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 1.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000

QUAD 5. "G1" 0.50000 M 3.73497 KG 10.00000 CM (1.15908 M) Quad Q1
VARY CODE = 0 1

1.100 M

DRIFT 3. 0.43550 M
1.536 M

0.000 3.119 CM
0.000 7.748 MR
0.000 5.231 CM
0.000 46.213 MR
0.000 0.000 CM
0.000 0.000 PC

0.998
0.000 0.000
0.000 0.000 1.000
0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

TRANSFORM 1

0.39978 0.10396 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-8.62757 0.25785 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 1.68169 0.20900 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 10.08105 1.84752 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000

QUAD 5. "G2" 0.50000 M -5.83680 KG 10.00000 CM (-0.60856 M) Quad Q2
2.036 M

DRIFT 3. 0.73350 M
2.769 M

0.000 9.309 CM
0.000 61.982 MR
0.000 2.760 CM
0.000 37.035 MR
0.000 0.000 CM
0.000 0.000 PC

1.000
0.000 0.000
0.000 0.000 -0.999
0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

TRANSFORM 1

-0.32730 0.31031 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-5.40177 2.06605 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.44637 0.11037 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -15.04031 -1.47863 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000

QUAD 5. "G" 0.50000 M 5.07824 KG 10.00000 CM (0.87763 M) Quad Q
3.269 M

0.000 9.289 CM
0.000 62.745 MR
0.000 1.633 CM
0.000 10.678 MR
0.000 0.000 CM
0.000 0.000 PC

-1.000
0.000 0.000
0.000 0.000
0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

-A1-

-A2-

```
*TRANSFORM 1*
-0.47121 0.30964 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-0.04674 -2.09150 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -0.23845 0.06529 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -13.78613 -0.41905 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
```

```
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000
*DRIFT* 3. 0.70000 M
3.969 M
```

```
0.000 4.897 CM
0.000 62.745 MR -1.000
0.000 0.917 CM 0.000 0.000
0.000 10.678 MR 0.000 0.000 -0.924
0.000 0.000 CM 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 PC 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
```

```
*TRANSFORM 1*
-0.47448 0.16323 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-0.04674 -2.09150 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -1.20347 0.03595 0.00000 0.00000
```

```
0.00000 0.00000 -13.78613 -0.41905 0.00
```

```
000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000
```

```
*DRIFT* 3. 0.53600 M
4.505 M
```

```
0.000 1.534 CM
0.000 62.745 MR -1.000
0.000 0.446 CM 0.000 0.000
0.000 10.678 MR 0.000 0.000 -0.924
0.000 0.000 CM 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 PC 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
```

```
*TRANSFORM 1*
-0.47698 0.05113 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-0.04674 -2.09150 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -1.94241 0.01349 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -13.78613 -0.41905 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000
```

```
*Z ROT* 20. 180.00000 DEG
4.505 M
```

```
* G/2 * 16. 5. 0.30000E+01
* K1 * 16. 7. 0.35000E+00
* K2 * 16. 8. 0.44000E+01
* 1/R1 * 16. 12. 0.81700E+00
*ROTAT* 2. 0.94000 DEG
```

Dipol D1

```
4.505 M
*BEND* 4. 1.33770 M 10.21200 KG 0.00000 ( 1.958 M , 39.134 DEG )
5.843 M
* 1/R2 * 16. 13. 0.78800E+00
```

```
0.000 6.550 CM
0.000 52.513 MR 1.000
0.000 1.207 CM 0.000 0.000
0.000 10.686 MR 0.000 0.000 0.957
0.000 1.783 CM -1.000 -1.000 0.000 0.000
0.000 0.000 PC 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
```

```
*TRANSFORM 1*
0.38070 0.21874 0.00000 0.00000 0.00000 0.47925
-1.46987 1.78375 0.00000 0.00000 0.00000 6.31141
0.00000 0.00000 3.77904 0.04262 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 13.72972 0.41945 0.00000 0.00000
-0.30485 -0.05943 0.00000 0.00000 1.00000 -0.10161
```


BEND 4. 1.33770 M 10.21200 KG 0.00000 (1.958 M , 39.134 DEG)
 7.180 M
 ROTAT 2. 29.06000 DEG
 7.180 M
 Z ROT 20. 180.00000 DEG
 7.180 M

0.000	11.695 CM				
0.000	53.582 MR	1.000			
0.000	2.608 CM	0.000	0.000		
0.000	3.733 MR	0.000	0.000	0.923	
0.000	8.268 CM	1.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000 PC	0.000	0.000	0.000	0.000

TRANSFORM 1
 -0.11361 -0.38985 0.00000 0.00000 0.00000 -1.56029
 2.04463 -1.78608 0.00000 0.00000 0.00000 -14.21810
 0.00000 0.00000 -5.61566 -0.09872 0.00000 0.00000
 0.00000 0.00000 1.65388 -0.14900 0.00000 0.00000

-0.48055 -0.27561 0.00000 0.00000 1.00000 -0.75781
 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000

DRIFT 3. 0.55270 M
 7.733 M

0.000	14.657 CM				
0.000	53.582 MR	1.000			
0.000	2.799 CM	0.000	0.000		
0.000	3.733 MR	0.000	0.000	0.933	
0.000	8.268 CM	1.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000 PC	0.000	0.000	0.000	0.000

TRANSFORM 1
 -0.00000 -0.48856 0.00000 0.00000 0.00000 -2.34613
 2.04463 -1.78608 0.00000 0.00000 0.00000 -14.21810
 0.00000 0.00000 -5.52425 -0.10696 0.00000 0.00000
 0.00000 0.00000 1.65388 -0.14900 0.00000 0.00000
 -0.48055 -0.27561 0.00000 0.00000 1.00000 -0.75781
 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000

DRIFT 3. 0.54010 M
 8.273 M

0.000	17.551 CM				
0.000	53.582 MR	1.000			
0.000	2.989 CM	0.000	0.000		
0.000	3.733 MR	0.000	0.000	0.942	
0.000	8.268 CM	1.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000 PC	0.000	0.000	0.000	0.000

TRANSFORM 1
 0.10983 -0.58503 0.00000 0.00000 0.00000 -3.11405
 2.04463 -1.78608 0.00000 0.00000 0.00000 -14.21810
 0.00000 0.00000 -5.43492 -0.11501 0.00000 0.00000
 0.00000 0.00000 1.65388 -0.14900 0.00000 0.00000
 -0.48055 -0.27561 0.00000 0.00000 1.00000 -0.75781
 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 1.00000

Z ROT 20. 180.00000 DEG
 8.273 M

* 1/R1 * 16. 12. -0.35910E+00

ROTAT 2. 30.21000 DEG
 8.273 M

BEND 4. 1.34983 M 10.18700 KG
 9.623 M

0.00000 (1.963 M , 39.393 DEG)

0.000	26.725 CM				
0.000	24.902 MR	1.000			
0.000	2.314 CM	0.000	0.000		
0.000	5.196 MR	0.000	0.000	-0.950	
0.000	24.118 CM	-1.000	-1.000	0.000	0.000
0.000	0.000 PC	0.000	0.000	0.000	0.000

Dipol D2

-A3-

TRANSFORM 1

-0.38022	0.89084	0.00000	0.00000	0.00000	5.77483
-1.47682	0.83006	0.00000	0.00000	0.00000	14.40533
0.00000	0.00000	3.11084	0.09066	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-17.21761	-0.18034	0.00000	0.00000
-0.30512	-0.80394	0.00000	0.00000	1.00000	-3.88403
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000

BEND 4. 1.34130 M 10.18700 KG 0.00000 (1.963 M , 39.144 DEG)

10.964 M

ROTAT 2. 0.08000 DEG

10.964 M

Z ROT 20. 180.00000 DEG

10.964 M

0.000	23.813 CM				
0.000	66.448 MR	-1.000			
0.000	1.666 CM	0.000	0.000		
0.000	5.125 MR	0.000	0.000	-0.898	
0.000	42.086 CM	1.000	-1.000	0.000	0.000
0.000	0.000 PC	0.000	0.000	0.000	0.000

TRANSFORM 1

0.47792	-0.79378	0.00000	0.00000	0.00000	-6.70474
-0.07376	2.21492	0.00001	0.00000	0.00000	1.03535
0.00000	0.00000	-0.80144	-0.06647	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	17.17965	0.17719	0.00000	0.00000
-0.00003	-1.40287	0.00000	0.00000	1.00000	-8.26616
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000

DRIFT 3. 1.00270 M

11.967 M

0.000 17.151 CM

0.000	66.448 MR	-1.000			
0.000	1.225 CM	0.000	0.000		
0.000	5.125 MR	0.000	0.000	-0.802	
0.000	42.086 CM	1.000	-1.000	0.000	0.000
0.000	0.000 PC	0.000	0.000	0.000	0.000

TRANSFORM 1

0.47052	-0.57169	0.00000	0.00000	0.00000	-6.60093
-0.07376	2.21492	0.00001	0.00000	0.00000	1.03535
0.00000	0.00000	0.92116	-0.04871	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	17.17965	0.17719	0.00000	0.00000
-0.00003	-1.40287	0.00000	0.00000	1.00000	-8.26616
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000

QUAD 5. "Q3" 0.73000 M -0.08190 KG

12.697 M

19.00000 CM (-63.43801 M) Quad Q3

0.000	12.389 CM				
0.000	64.126 MR	-1.000			
0.000	0.946 CM	0.000	0.000		
0.000	5.251 MR	0.000	0.000	-0.655	
0.000	42.086 CM	1.000	-1.000	0.000	0.000
0.000	0.000 PC	0.000	0.000	0.000	0.000

TRANSFORM 1

0.46783	-0.41297	0.00000	0.00000	0.00000	-6.56315
-0.00001	2.13754	0.00001	0.00000	0.00000	0.00077
0.00000	0.00000	2.16759	-0.03552	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	16.93643	0.18383	0.00000	0.00000
-0.00003	-1.40287	0.00000	0.00000	1.00000	-8.26616
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000

DRIFT

3. 1.93200 M

0.000 0.023 CM
0.000 64.126 MR
0.000 0.816 CM
0.000 5.251 MR
0.000 42.086 CM
0.000 0.000 PC

-0.001
0.000 0.000
0.000 0.000 0.484
0.001 -1.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

TRANSFORM 1

0.46783	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-6.56300
-0.00001	2.13754	0.00001	0.00000	0.00000	0.00077
0.00000	0.00000	5.43971	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	16.93643	0.18383	0.00000	0.00000
-0.00003	-1.40287	0.00000	0.00000	1.00000	-8.26616
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000

LENGTH

14.62903 M

$$D/M = 14.0 \text{ m}$$